

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-002786

(43)Date of publication of application : 08.01.2003

(51)Int.Cl.

C30B 29/06
H01L 21/208

(21)Application number : 2001-190915

(71)Applicant : SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD

(22)Date of filing : 25.06.2001

(72)Inventor : IIDA MAKOTO

(54) SILICON SINGLE CRYSTAL SUBSTRATE, EPITAXIAL WAFER AND METHOD FOR PRODUCING THEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high quality, highly functional epitaxial wafer which is obtained by forming an epitaxial layer on a p⁺ substrate wherein boron is doped in a high concentration and nitrogen is also doped so as to produce a p/p⁺-EP wafer and eliminate crystal defects from the epitaxial surface of the p/p⁺-EP wafer, and which has high gettering ability.

SOLUTION: The silicon single crystal substrate for an epitaxial wafer is used as a substrate for the epitaxial wafer and characterized in that it is a single crystal grown under conditions that nitrogen and boron are doped, especially boron is doped in a high concentration, and the value of V/G, wherein V is pulling speed, and G is temperature gradient in the crystal, is controlled to be between the lower limit of the fine dislocation occurring region in the OSF ring area and the upper limit of I-enriched area. Further, an epitaxial wafer is obtained by forming an epitaxial layer on the silicon single crystal substrate mentioned above.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-2786

(P2003-2786A)

(43) 公開日 平成15年1月8日 (2003.1.8)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
C 3 0 B 29/06	5 0 2	C 3 0 B 29/06	5 0 2 J 4 G 0 7 7
H 0 1 L 21/208		H 0 1 L 21/208	5 0 2 H 5 F 0 5 3
			P

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2001-190915(P2001-190915)

(22) 出願日 平成13年6月25日 (2001.6.25)

(71) 出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(72) 発明者 飯田 誠

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社磯部工場内

(74) 代理人 100102532

弁理士 好宮 幹夫

Fターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EA02 EA10

EB01 EH07 EH09 HA06 HA12

PF55

5F053 AA14 DD01 GG01 JJ01 KK03

KK10 RR20

(54) 【発明の名称】 シリコン単結晶基板、エピタキシャルウエーハおよびこれらの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高濃度のボロンがドーブされ、かつ、窒素もドーブされたp⁺基板にエピタキシャル層を形成したp⁺/p⁺-EPウエーハのエピ表面から結晶欠陥が排除され、ゲッタリング能力の高い高品質、高機能のエピタキシャルウエーハおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 エピタキシャルウエーハの基板となるシリコン単結晶基板であって、窒素および高濃度にボロンがドーブされ、かつV/G(ここに、V:引上げ速度、G:結晶温度勾配とする)値がOSFリング領域内の微小転位発生領域の下限值とI-リッチ領域の上限値の間となる条件で育成された単結晶であることを特徴とするエピタキシャルウエーハ用のシリコン単結晶基板、およびその上にエピ層を形成したエピタキシャルウエーハ。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 エピタキシャルウエーハの基板となるシリコン単結晶基板であって、窒素および高濃度のボロンがドーブされ、かつ V/G （ここに、 V ：引上げ速度、 G ：結晶中の固液界面近傍の結晶軸方向温度勾配とする）値がOSFリング領域内の微小転位発生領域の下限値とI-リッチ領域の上限値の間となる条件で育成された単結晶であることを特徴とするエピタキシャルウエーハ用のシリコン単結晶基板。

【請求項2】 前記シリコン単結晶基板は、抵抗率が0.02Ω・cm以下であることを特徴とする請求項1に記載したエピタキシャルウエーハ用のシリコン単結晶基板。

【請求項3】 前記ドーブされた窒素の濃度が $3 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 以上であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載したエピタキシャルウエーハ用のシリコン単結晶基板。

【請求項4】 請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載したシリコン単結晶基板の上にエピタキシャル層を成長させて成ることを特徴とするエピタキシャルウエーハ。

【請求項5】 窒素および高濃度のボロンをドーブしたシリコン単結晶基板上にエピタキシャル層を形成したエピタキシャルウエーハであって、前記エピタキシャル層表面に基板の結晶欠陥に起因するエピタキシャル層欠陥が存在しないことを特徴とするエピタキシャルウエーハ。

【請求項6】 チョクラスキー法により窒素および高濃度のボロンをドーブしたシリコン単結晶を育成する際に、 V/G 値がOSFリング内微小転位発生領域の下限値とI-リッチ領域の上限値の間となる条件でシリコン単結晶を引上げることとを特徴とするエピタキシャル成長用のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項7】 前記育成するシリコン単結晶の抵抗率を0.02Ω・cm以下、窒素濃度を $3 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 以上とすることを特徴とする請求項6に記載したシリコン単結晶の製造方法。

【請求項8】 請求項6または請求項7に記載の製造方法で製造されたシリコン単結晶をスライスして得られる基板上に、エピタキシャル層を成長させることを特徴とするエピタキシャルウエーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、バルク中のゲッタリング能力をさらに向上し、エピタキシャル層に欠陥のない p/p^+ エピタキシャルウエーハ（以下、 p/p^+ -EPウエーハということがある）およびその基板となるシリコン単結晶の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体デバイスの集積回路では寄生素子

を通して電源からグランドへのショートが発生することがあり、この現象は一旦発生すると電源を落さない限り回復せず、デバイスが正常動作しなくなるためラッチアップと呼ばれている。この対策として、 p/p^+ -EPウエーハが利用されている。

【0003】 この p/p^+ -EPウエーハとは、ボロンを高濃度に含有した基板（ p^+ 基板）がゲッタリング効果を有することを利用し、 p^+ 基板上に低ボロン濃度（ p^- ）のエピタキシャル（以下、エビということがある）層を形成した p^-/p^+ エピタキシャルウエーハであり、近年、高濃度ボロンによるゲッタリング効果と、高濃度ボロンが酸素の析出を促進することによるゲッタリング効果、さらには基板の強度が向上する等の利点があるため、高機能デバイス等で利用されている。

【0004】 最近では、さらに機能を追加するため、基板に窒素をドーブして、エビ後の酸素析出特性をさらに向上させた p/p^+ -EPウエーハも開発されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、窒素をドーブした結晶は、酸素濃度、窒素濃度、 V/G [$\text{mm}^2/\text{K} \cdot \text{min}$]（ここに、 V ：引上げ速度 [mm/min]、 G ：結晶中の固液界面近傍の融点から1400℃の間の結晶軸方向温度勾配 [K/mm]とする）値等の単結晶引上げ条件によって、OSFリング領域の一部に微小な転位クラスターが生じる場合がある。すなわち、窒素をドーブするとOSFリング領域が拡大し、従来の窒素ノンドーブのOSF領域にはなかった微小な転位がOSF領域の中に発生するようになる（I-リッチ領域でないにもかかわらず）（図1（b）参照）。そして、この微小な転位が基板に存在すると、エビ層成長工程でエビ層に伝播するため、エビ表面に欠陥を形成してしまうことになる。

【0006】 p/p^- -EPウエーハの場合、 p^- 基板用の結晶を引上げる際の V/G 値を高く設定する等により、OSFリングを結晶の外側に追い出して、転位が発生する領域を基板上からなくすることにより、このようなエビ欠陥の発生を抑制してきた（特許願11-294523号、特許願2000-191047号、E.Dornberger et al., J. Crystal Growth 180(1977) 343-352.参照）。

【0007】 一方、高濃度ボロンドーブの場合、OSFリングが発生する V/G 値が、高 V/G 側にシフトすることが、既に知られている（E.Dornberger et al., J. Crystal Growth 180(1977) 343-352.）。そこで、この高濃度ボロンによりOSFリングが発生する場合の V/G 値の変化と、窒素ドーブによる転位発生について調査したところ、

（1）窒素をドーブした場合においても、同様にOSFリングが発生する V/G 値は高 V/G 側にシフトする。

（2）この場合でもOSFリング領域の一部に、同様に

微小な転位クラスターが発生する領域が存在する。

(3) このような転位は、ボロンの高濃度ドーピングだけでは抑制できないことが確認された。すなわち p^- 基板と同様に V/G を高くした結晶製法で、抵抗率を低くした p^+ 基板を用いて $p/p^+ - EP$ ウエーハを作製した場合にはエビ欠陥が発生してしまうことがわかった。

【0008】そこで、本発明はこのような問題点に鑑みてなされたもので、窒素がドーピングされた高濃度ボロンドープ基板にエビタキシャル層を形成して $p/p^+ - EP$ ウエーハを作製する際に、エビ表面から結晶欠陥が排除された、ゲッターリング能力の高いエビタキシャルウエーハ、およびその製造方法を提供することを主たる目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明のエビタキシャルウエーハ用のシリコン単結晶基板は、エビタキシャルウエーハの基板となるシリコン単結晶基板であって、窒素および高濃度のボロンがドーピングされ、かつ V/G （ここに、 V ：引上げ速度、 G ：結晶中の固液界面近傍の結晶軸方向温度勾配とする）値がOSFリング領域内の微小転位発生領域の下限值と1-リッチ領域の上限値の間となる条件で育成された単結晶であることを特徴としている（請求項1）。尚、本発明における「高濃度ボロン」とは、ボロン濃度が少なくとも $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ （抵抗率で $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下）であることを言う。

【0010】このように、窒素および高濃度ボロンがドーピングされ、かつ V/G 値がOSFリング領域内の微小転位発生領域の下限值と1-リッチ領域の上限値の間となる条件で育成された単結晶から製造されたシリコン単結晶基板は、その面内に、窒素ドーピング起因のOSFリング領域内に発生し易い微小転位発生領域が存在しないので、この基板の上にエビタキシャル層を積んでもエビ表面に欠陥を形成する恐れはなく高品質、高機能のエビタキシャルウエーハを提供することができる。

【0011】この場合、シリコン単結晶基板は、抵抗率が $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であり（請求項2）、ドーピングされた窒素の濃度が $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上であることが好ましい（請求項3）。

【0012】このように抵抗率を $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下としたものは、ボロン濃度が十分に高いことによるゲッターリング効果と高濃度ボロンが酸素の析出を促進することによるゲッターリング効果と基板の強度が向上する等の利点がある。また、ドーピングする窒素濃度を $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上とすれば、酸素析出特性を一層向上させることができる。

【0013】そして本発明のエビタキシャルウエーハは、前記シリコン単結晶基板の上にエビタキシャル層を成長させて成るものであって（請求項4）、基板中に窒素ドーピング起因のOSFリング領域内に発生し易い微小転

位発生領域が存在しないので、この基板の上にエビタキシャル層を積んでもエビ表面に欠陥を形成する恐れはなく高品質、高機能のエビタキシャルウエーハを提供することができる。

【0014】さらに、本発明のエビタキシャルウエーハは、窒素および高濃度のボロンをドーピングしたシリコン単結晶基板の上にエビタキシャル層を形成したエビタキシャルウエーハであって、エビタキシャル層表面に基板の結晶欠陥に起因するエビタキシャル層欠陥が存在しないことを特徴としている（請求項5）。このように、本発明では、窒素がドーピングされた高濃度ボロンドープ基板を用いているにもかかわらず、エビ層欠陥がないエビタキシャルウエーハとすることができる。従って、エビ欠陥がないとともにIG能力の極めて高いエビタキシャルウエーハが提供される。

【0015】また、本発明にかかわるエビタキシャル成長用のシリコン単結晶の製造方法は、チョクラルスキー法により窒素および高濃度のボロンをドーピングしたシリコン単結晶を育成する際に、 V/G 値がOSFリング内微小転位発生領域の下限值と1-リッチ領域の上限値の間となる条件でシリコン単結晶を引上げることを特徴としている（請求項6）。

【0016】このように、CZ法により窒素および高濃度のボロンをドーピングしたシリコン単結晶を育成する際に、 V/G 値がOSFリング内微小転位発生領域の下限值と1-リッチ領域の上限値の間となる条件で単結晶を引上げれば、その単結晶から製造されたシリコン単結晶基板は、その面内に、窒素ドーピング起因のOSFリング領域内に発生し易い微小転位発生領域が存在しないので、この基板の上にエビタキシャル層を積んでもエビ表面に欠陥を形成する恐れはない。

【0017】この場合、育成したシリコン単結晶の抵抗率を $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下、窒素濃度を $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上とすることが好ましい（請求項7）。この抵抗率を $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下としたものは、ボロン濃度が十分高いことによるゲッターリング効果と高濃度ボロンが酸素の析出を促進することによるゲッターリング効果と基板の強度が向上する等の利点がある。また、ドーピングする窒素濃度を $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上とすれば、酸素析出特性を一層向上させることができる。

【0018】本発明のエビタキシャルウエーハの製造方法は、上記の製造方法で製造されたシリコン単結晶をスライスして得られる基板上に、エビタキシャル層を成長させることを特徴としており（請求項8）、このような製造方法によれば、基板となるシリコン単結晶ウエーハの面内に、窒素ドーピング起因のOSFリング領域内に発生し易い微小転位発生領域が存在しないので、この基板の上にエビタキシャル層を積んでもエビ表面に欠陥を形成する恐れはなく、高品質、高機能のエビタキシャルウエーハを提供することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、さらに詳細に説明するが、本発明は、これらに限定されるものではない。本発明者等は、 $p/p^+ - EP$ ウエーハ用の高濃度のボロンがドーブされ、かつ、窒素もドーブされたシリコン単結晶基板にエピタキシャル層を形成してもエピ層表面に結晶欠陥が形成されないエピタキシャルウエーハを製造する方法を確立するため、シリコン単結晶育成条件について鋭意調査、実験を行い、諸条件を精査して本発明を完成させた。

【0020】単結晶の引上げ速度は、どこまでも高速に出来るのなら、 V/G 値を著しく大きくすることによって、窒素ドーブ結晶でも微小転位発生領域を結晶周辺部に追いやることが出来るので問題はないのだが、実際は、ある速度を超えると結晶が変形し易くなり、量産レベルでの引上げが困難になる速度が存在する。そして、この速度におけるパラメータ V/G 値では、窒素ドーブ、高濃度ボロンドープの場合は、やはり、OSFリングおよびその領域内の微小転位発生領域の発生を結晶周辺部に消滅させることは出来ない。

【0021】そこで、OSFリングを結晶の内側に配置し、微小転位が発生しないように、引上速度を低速化することを試みた。通常の抵抗値を有する結晶であれば、このような領域は、①極低速である、②すぐ隣にI-リッチ領域があり、ここにも転位クラスターが高密度に存在する、という2つの理由からエピタキシャル成長用の基板に向いているとは考えられないのが普通である（図1(b)参照）。

【0022】しかし、高濃度ボロンドープの場合は、このような微小転位が発生しない領域が比較的高速であり、かつ、I-リッチ領域となる V/G 値がそれほど高くないことが、窒素ドーブ、高濃度ボロンドープ結晶においても確認できた。また、OSF発生領域およびその内部の微小転位発生領域は、ボロン濃度の他に、窒素濃度や酸素濃度の影響を受けることが確認された。従って、高濃度ボロン・窒素ドーブ基板を用いた、 $p/p^+ - EP$ ウエーハを製造する場合は、OSF領域内の微小転位領域が発生しない程度に速度を下げ、また、I-リッチ領域にならないように、面内の V/G 値をコントロールしながら、基板用の結晶を製造すればよいという結果が得られた。

【0023】以上の結果を総合して、本発明のエピタキシャル成長用のシリコン単結晶の製造方法は、チョクラルスキー法により窒素および高濃度のボロンをドーブしたシリコン単結晶を育成する際に、 V/G 値がOSFリング内微小転位発生領域の下限値とI-リッチ領域の上限値の間となる条件でシリコン単結晶を引上げることとした（図1(a)参照）。

【0024】このような条件で引上げられた単結晶から製造されたシリコン単結晶基板は、その面内に、窒素ド

ープ起因のOSFリング領域内に発生し易い微小転位発生領域が存在しないので、この基板の上にエピタキシャル層を積んでもエピ表面に結晶欠陥を形成する恐れはなく、しかもゲッターリング効果の非常に高いエピタキシャルウエーハを提供することができる。尚、 V/G の算出は、FEMAGを用い、HZを考慮して行うことができる。ここでFEMAGは、文献（F. Dupret, P. Nicodeme, Y. Ryckmans, P. Wouters, and M. J. Crochet, Int. J. Heat Mass Transfer, 33, 1849 (1990)）に開示されている総合伝熱解析ソフトである。

【0025】この場合、育成するシリコン単結晶の抵抗率を $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下、窒素濃度を $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上とすることが好ましく、この抵抗率を $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下としたものは、ボロン濃度が高いことによるゲッターリング効果と高濃度ボロンが酸素の析出を促進することによるゲッターリング効果と基板の強度が向上する等の利点がある。但し、シリコン単結晶中のボロンの固溶限界があるので、抵抗値は $0.0001 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度が下限である。また、ドーブする窒素濃度を $3 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 以上とすれば、窒素による酸素析出特性を十分に向上させることができる。この濃度より低いと、窒素をドーブしたことによる酸素析出効果が低くなる恐れがある。また、窒素も単結晶化の妨げとならない 5×10^{13} 程度の濃度が上限である。

【0026】本発明においては、結晶中の酸素濃度は、原則としてどのような濃度であってもよい。但し、酸素濃度によって、OSFリングおよびOSFリング内の微小転位ループの発生の仕方が変化するので、 V/G 値を本発明の領域内とする引上げの難易度に影響を及ぼす。具体的には、酸素が全く存在しなければ、OSFの核が発生しようがなく、OSFリングおよび微小転位ループは共に発生しない。また、極低酸素濃度で結晶を作った場合と、高酸素濃度で作った場合とでは、明らかにOSFリングおよび微小転位ループの発生の仕方が異なり、高酸素では微小転位が発生し易くなる。従って、本発明においては、結晶中の酸素濃度も考慮して適切な V/G 値を制御する必要がある。

【0027】そして、本発明のエピタキシャルウエーハの製造方法は、上記の製造方法で製造されたシリコン単結晶をスライスして得られるウエーハ上に、エピタキシャル層を成長させる。これによりエピ欠陥のないエピ層を形成したIG能力の極めて高いエピタキシャルウエーハを提供することができる。

【0028】

【実施例】以下、本発明の実施例および比較例を挙げてより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されることはない。

【0029】（実施例、比較例）

10

20

30

40

50

〔試験-1〕 特定のHZ (Hot Zone、単結晶引上げ装置内の炉内構造) を有する引上げ装置を使用して、原料ポリシリコン120kgをチャージし、窒化膜付きウェーハを所定量投入し、窒素濃度を $3 \times 10^{23} / \text{cm}^3$ (単結晶棒の肩の部分、計算値)、抵抗率を単結晶棒の肩で $0.015 \Omega \cdot \text{cm}$ となるように不純物(ボロン)をドーブし、酸素濃度を約14ppma (JEIDA規格、JEIDA:日本電子工業振興協会)、引上げ速度を 1.0 mm/min として直径200mm (8インチ)の単結晶を引上げた。

〔0030〕この単結晶から切り出したウェーハには、OSFリングが広く分布し、その一部に微小転位が発生していた(図1(a)の $V=1.0$ の位置であり、 $V/G=0.25 \text{ mm}^2 / \text{K} \cdot \text{min}$)。さらに、結晶の肩近くの直胴からスライスして作製した鏡面ウェーハに、 1130°C で $5 \mu\text{m}$ のエピタキシャル層を成長させたところ、微小転位の発生していた部分に対応するエピ層の表面にエビ欠陥が存在することが、断面TEM観察により明らかとなった。

〔0031〕〔試験-2〕 続いて試験-1と同一のHZ構造を有する引上げ装置を用い、同一条件にて引上速度を 0.80 mm/min まで低下させて引上げたところ、ウェーハの中心にOSFリングそのものは若干残留していたが、微小転位そのものは発生していない領域となった(図1(a)の $V=0.8$ の位置であり、 $V/G=0.20 \text{ mm}^2 / \text{K} \cdot \text{min}$)。この結晶から鏡面ウェーハを作製し、エピタキシャル層を成長させたところ、エビ表面から欠陥は排除されていた。

〔0032〕〔試験-3〕 最後に試験-1と同一のHZ構造を有する引上げ装置を用い、同一条件にて引上速度を 0.6 mm/min まで低下させたところ、全面がいわゆるI-リッチ領域となった(図1(a)の $V=0.6$ の位置であり、 $V/G=0.15 \text{ mm}^2 / \text{K} \cdot \text{min}$)。この領域は、大きい転位クラスターが発生する領域であり、エビ成長後にその表面に欠陥が全面に発生していた。

〔0033〕以上の試験の結果、本発明のエピタキシャル成長用のシリコン単結晶の製造方法は、CZ法により窒素および高濃度のボロンをドーブしたシリコン単結晶を育成する際に、 V/G 値がOSFリング内微小転位発生領域の下限値とI-リッチ領域の上限値の間となる条件でシリコン単結晶を引上げれば良く、これにより微小転位発生領域のないシリコン単結晶基板を作製することができることが確かめられた。

〔0034〕また、転位が発生しない領域というのは、ボロン濃度や窒素濃度で大きく変化する。基板内に十分なBMDが得られる窒素濃度は $3 \times 10^{23} / \text{cm}^3$ 以上なので、この濃度で使用することがゲッタリング能力向上の観点から望ましい。また、抵抗率が通常抵抗率($1 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$)と低抵抗率($0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下)との間では、さほど、OSFリングが発生する V/G 値が高くないことと、いわゆるN領域も拡大しないので、 V/G 値を本発明の範囲内として結晶を引上げるのは難しい。よって、抵抗率は $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下、好ましくは $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲で、本発明手法を適用することが望ましい。

〔0035〕一方、窒素濃度が $1 \times 10^{24} / \text{cm}^3$ 以上と高い場合には、微小転位が発生するような領域が拡大するので、この窒素濃度を使用する場合には、単結晶引上げ装置内のHZを調整して、結晶中の固液界面近傍の結晶軸方向温度勾配 G の面内分布を平坦化する等により、面内から窒素起因の転位と、I-リッチ領域の転位の両方を排除する必要がある。

〔0036〕なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

〔0037〕例えば、上記実施形態においては、直径200mm (8インチ)のシリコン単結晶を育成する場合につき例を挙げて説明したが、本発明はこれには限定されず、直径100~400mm (4~16インチ)あるいはそれ以上のシリコン単結晶にも適用できる。また、本発明は、シリコン融液に水平磁場、縦磁場、カスプ磁場等を印加するいわゆるMCZ法にも適用できることは言うまでもない。

〔0038〕

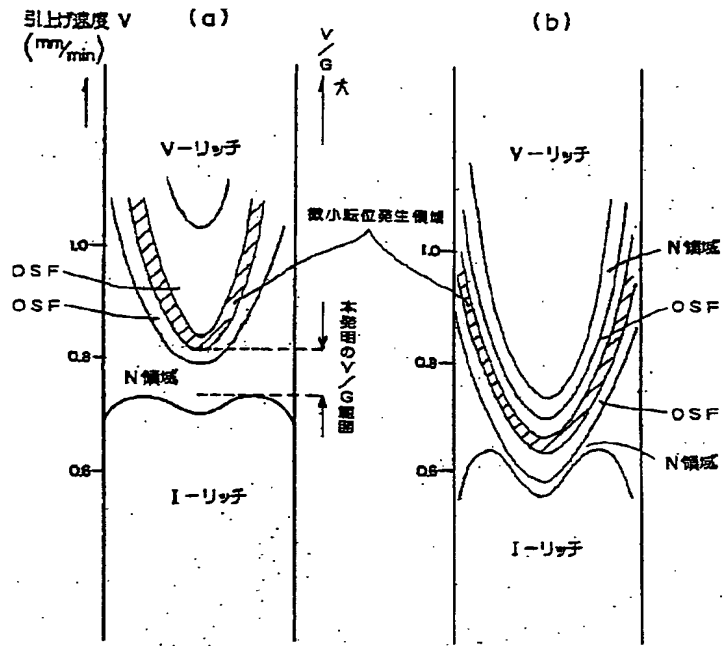
〔発明の効果〕以上詳細に説明した本発明によれば、 $p/p^+ - EP$ ウェーハのシリコン単結晶基板に窒素をドーブしても、エビ層表面から欠陥が排除されたゲッタリング能力の極めて高い高品質、高機能のエピウェーハを製造することができる。

〔図面の簡単な説明〕

〔図1〕(a) 窒素ドーブ、高濃度ボロンドープ結晶成長方向での結晶欠陥の変化の様子を見た図である。

(b) 従来の窒素ドーブ結晶成長方向での結晶欠陥の分布の様子を見た図である。

【図1】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-002786

(43)Date of publication of application : 08.01.2003

(51)Int.Cl.

C30B 29/06
H01L 21/208

(21)Application number : 2001-190915

(71)Applicant : SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD

(22)Date of filing : 25.06.2001

(72)Inventor : IIDA MAKOTO

(54) SILICON SINGLE CRYSTAL SUBSTRATE, EPITAXIAL WAFER AND METHOD FOR PRODUCING THEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high quality, highly functional epitaxial wafer which is obtained by forming an epitaxial layer on a p⁺ substrate wherein boron is doped in a high concentration and nitrogen is also doped so as to produce a p/p⁺-EP wafer and eliminate crystal defects from the epitaxial surface of the p/p⁺-EP wafer, and which has high gettering ability.

SOLUTION: The silicon single crystal substrate for an epitaxial wafer is used as a substrate for the epitaxial wafer and characterized in that it is a single crystal grown under conditions that nitrogen and boron are doped, especially boron is doped in a high concentration, and the value of V/G, wherein V is pulling speed, and G is temperature gradient in the crystal, is controlled to be between the lower limit of the fine dislocation occurring region in the OSF ring area and the upper limit of I-enriched area. Further, an epitaxial wafer is obtained by forming an epitaxial layer on the silicon single crystal substrate mentioned above.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The silicon single crystal substrate for epitaxial wafers characterized by being a silicon single crystal substrate used as the substrate of an epitaxial wafer, and being the single crystal raised on the conditions which nitrogen and high-concentration boron are doped, and a V/G (it considers as crystal orientation temperature gradient V:pull-up rate and near [under G:crystal] solid-liquid interface here) value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring field, and the upper limits of an I-rich field.

[Claim 2] Said silicon single crystal substrate is a silicon single crystal substrate for epitaxial wafers indicated to claim 1 characterized by resistivity being 0.02 or less ohm-cm.

[Claim 3] The concentration of said doped nitrogen is 3×10^{13} /cm³. Silicon single crystal substrate for epitaxial wafers indicated to claim 1 or claim 2 characterized by being above.

[Claim 4] The epitaxial wafer characterized by growing up an epitaxial layer and changing on the silicon single crystal substrate indicated in any 1 term of claim 1 thru/or claim 3.

[Claim 5] The epitaxial wafer characterized by the epitaxial layer defect which is the epitaxial wafer in which the epitaxial layer was formed on the silicon single crystal substrate which doped nitrogen and high-concentration boron, and originates in the crystal defect of a substrate on said epitaxial layer front face not existing.

[Claim 6] The manufacture approach of the silicon single crystal for epitaxial growth characterized by pulling up a silicon single crystal on the conditions which V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring, and the upper limits of an I-rich field in case the silicon single crystal which doped nitrogen and high-concentration boron with the Czochralski method is raised.

[Claim 7] It is 3×10^{13} /cm³ about 0.02 or less ohm-cm and nitrogen concentration in the resistivity of said silicon single crystal to raise. The manufacture approach of the silicon single crystal indicated to claim 6 characterized by considering as the above.

[Claim 8] The manufacture approach of the epitaxial wafer characterized by growing up an epitaxial layer on the substrate which slices the silicon single crystal manufactured by the manufacture approach according to claim 6 or 7, and is obtained.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is p/p+ which improves the gettering capacity in bulk further and does not have a defect in an epitaxial layer. It is related with the manufacture approach of the silicon single crystal used as an epitaxial wafer (it may be hereafter called a p/p+-EP wafer) and its substrate.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the integrated circuit of a semiconductor device, the short-circuit to a gland from a power source may occur through a parasitic element, and once it generates, unless a power source will be dropped, it does not recover, but in order that a device may not carry out normal actuation of this phenomenon, it is called the latch rise. The p/p+-EP wafer is used as this cure.

[0003] It uses that the substrate (p+ substrate) which contained boron in high concentration has the gettering effectiveness with this p/p+-EP wafer. p+ p-/p+ in which the epitaxial (it may be hereafter called EPI) layer of low boron concentration (p-) was formed on the substrate The gettering effectiveness are an epitaxial wafer and according to recent-years and high concentration boron, The gettering effectiveness by high concentration boron promoting a deposit of oxygen, and since there is an advantage of the reinforcement of a substrate improving further, it is used with the highly efficient device etc.

[0004] Recently, in order to add a function further, nitrogen is doped to a substrate and the p/p+-EP wafer which raised the precipitation-of-oxygen property after EPI further is also developed.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, a minute rearrangement cluster may produce the crystal which doped nitrogen to a part of OSF ring field according to crystal pulling conditions, such as an oxygen density, nitrogen concentration, and a V/G [mm² / K-min] (it considers as crystal orientation temperature gradient between 1400 degrees C [K/mm] here from the melting point near [under V:pull-up rate [mm/min] G:crystal] solid-liquid interface) value. That is, if nitrogen is doped, an OSF ring field will be expanded, and the minute rearrangement which was not in the OSF field of the conventional nitrogen non dope comes (in spite of not being an I-rich field) (refer to drawing 1 (b)) to occur in an OSF field. And a defect will be formed in an EPI front face in order to spread to an epilayer at an epilayer growth process, if this minute rearrangement exists in a substrate.

[0006] In the case of a p/p--EP wafer, it is p. - By setting up highly V/G value at the time of pulling up the crystal for substrates etc. By driving out an OSF ring on the outside of a crystal and losing from a substrate the field which a rearrangement generates Generating of such an EPI defect has been controlled (refer to [a patent application No. 294523 / 11 to /, a patent application No. 191047 / 2000 to /, and] E.Dornberger et al.J.Crystal Growth 180 (1977) 343-352.).

[0007] On the other hand, in the case of the high concentration boron dope, it is already known that V/G value which an OSF ring generates will shift to the high V/G side (E. Dornberger et al.J.Crystal Growth 180 (1977) 343-352.). Then, when it investigates about rearrangement generating by a V/G value change and a nitrogen dope in case an OSF ring is generated with this high concentration boron, and (1) nitrogen is doped, V/G value which an OSF ring generates similarly are shifted to the high V/G side.

(2) Even in this case, the field which a minute rearrangement cluster generates similarly exists in a part of OSF ring field.

(3) It was checked that such a rearrangement cannot be controlled only with the high concentration dope of boron. Namely, p - p+ which made resistivity low by the crystal process which made V/G high like the substrate When a p/p+-EP wafer was produced using a substrate, it turned out that an EPI defect occurs.

[0008] Then, in case this invention was made in view of such a trouble, forms an epitaxial layer in the high

concentration boron dope substrate with which nitrogen was doped and a p/p+-EP wafer is produced, it sets it as the main purpose to offer the high epitaxial wafer and its manufacture approach of the gettering capacity for the crystal defect to have been eliminated from the EPI front face.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, the silicon single crystal substrate for the epitaxial wafers of this invention It is a silicon single crystal substrate used as the substrate of an epitaxial wafer. nitrogen and high-concentration boron dope -- having -- and V/G (here -- V:pull-up rate --) G: It is characterized by being the single crystal raised on the conditions which the value made into the crystal orientation temperature gradient near [under crystal] the solid-liquid interface becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring field, and the upper limits of an I-rich field (claim 1). In addition, the "high concentration boron" in this invention means that boron concentration is 5×10^{17} atoms/cm³ at least (they are 0.1 or less ohm-cm at resistivity).

[0010] Thus, the silicon single crystal substrate manufactured from the single crystal raised on the conditions which nitrogen and high concentration boron are doped, and V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring field, and the upper limits of an I-rich field Since the minute rearrangement generating field which is easy to generate in the OSF ring field of a nitrogen dope reason does not exist in that field, although an epitaxial layer is stacked on this substrate, there is no possibility of forming a defect in an EPI front face, and it can offer high quality and a highly efficient epitaxial wafer.

[0011] In this case, for a silicon single crystal substrate, the concentration of the nitrogen which resistivity is 0.02 or less ohm-cm (claim 2), and was doped is 3×10^{13} /cm³. It is desirable that it is above (claim 3).

[0012] Thus, some which made resistivity 0.02 or less ohm-cm have the advantage of the reinforcement of the gettering effectiveness by the gettering effectiveness and high concentration boron by boron concentration being fully high promoting a deposit of oxygen and a substrate improving. Moreover, it is 3×10^{13} /cm³ about the nitrogen concentration to dope. The above, then a precipitation-of-oxygen property can be raised further.

[0013] And since the minute rearrangement generating field which the epitaxial wafer of this invention grows up an epitaxial layer, changes on said silicon single crystal substrate, and is easy to generate in the OSF ring field of a nitrogen dope reason in a substrate (claim 4) does not exist, although an epitaxial layer is stacked on this substrate, there is no possibility of forming a defect in an EPI front face, and it can offer high quality and a highly efficient epitaxial wafer.

[0014] Furthermore, the epitaxial wafer of this invention is an epitaxial wafer in which the epitaxial layer was formed on the silicon single crystal substrate which doped nitrogen and high-concentration boron, and is characterized by the epitaxial layer defect resulting from the crystal defect of a substrate not existing in an epitaxial layer front face (claim 5). Thus, in this invention, in spite of using the high concentration boron dope substrate with which nitrogen was doped, it can consider as an epitaxial wafer without an epilayer defect. Therefore, while there is no EPI defect, the very high epitaxial wafer of IG capacity is offered.

[0015] Moreover, in case the manufacture approach of the silicon single crystal for epitaxial growth in connection with this invention raises the silicon single crystal which doped nitrogen and high-concentration boron with the Czochralski method, it is characterized by pulling up a silicon single crystal on the conditions which V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring, and the upper limits of an I-rich field (claim 6).

[0016] Thus, if a single crystal is pulled up on the conditions which V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring, and the upper limits of an I-rich field in case the silicon single crystal which doped nitrogen and high-concentration boron by the CZ process is raised Since the minute rearrangement generating field which is easy to generate in the OSF ring field of a nitrogen dope reason does not exist in that field, although the silicon single crystal substrate manufactured from that single crystal stacks an epitaxial layer on this substrate, there is no possibility of forming a defect in an EPI front face.

[0017] In this case, it is 3×10^{13} /cm³ about 0.02 or less ohm-cm and nitrogen concentration in the resistivity of the raised silicon single crystal. Considering as the above is desirable (claim 7). Some which made this resistivity 0.02 or less ohm-cm have the advantage of the reinforcement of the gettering effectiveness by the gettering effectiveness and high concentration boron by boron concentration being high enough promoting a deposit of oxygen and a substrate improving. Moreover, it is 3×10^{13} /cm³ about the nitrogen concentration to dope. The above, then a precipitation-of-oxygen property can be raised further.

[0018] The manufacture approach of the epitaxial wafer of this invention On the substrate which slices the

silicon single crystal manufactured by the above-mentioned manufacture approach, and is obtained, are characterized by growing up an epitaxial layer (claim 8), and according to such a manufacture approach. Since the minute rearrangement generating field which is easy to generate in the OSF ring field of a nitrogen dope reason does not exist in the field of the silicon single crystal wafer used as a substrate. Although an epitaxial layer is stacked on this substrate, there is no possibility of forming a defect in an EPI front face, and it can offer high quality and a highly efficient epitaxial wafer.

[0019]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, although the gestalt of operation of this invention is further explained to a detail, this invention is not limited to these. Even if this invention person etc. formed an epitaxial layer in the silicon single crystal substrate with which the high-concentration boron for p/p+-EP wafers was doped, and nitrogen was also doped, in order that he might establish the approach of manufacturing the epitaxial wafer with which a crystal defect is not formed in an epilayer front face, he conducted investigation and an experiment wholeheartedly about silicon single crystal training conditions, scrutinized terms and conditions, and completed this invention.

[0020] If the pull-up rate of a single crystal is made to a high speed to where, since a nitrogen dope crystal can also drive away a minute rearrangement generating field to a crystal periphery by enlarging V/G value remarkable, it will be satisfactory, but in practice, if a certain rate is exceeded, the rate to which it becomes easy to transform a crystal and a pull-up on mass-production level becomes difficult exists. And in the case of a nitrogen dope and a high concentration boron dope, in parameter V / G value in this rate, generating of the minute rearrangement generating field in an OSF ring and its field cannot be too extinguished to a crystal periphery.

[0021] Then, it tried to low-speed-ize a raising rate so that an OSF ring might be arranged inside a crystal and a minute rearrangement might not occur. ** such whose a field is ** super-low ** if it is the crystal which has the usual resistance -- from two reasons an I-rich field is next immediately and a rearrangement cluster exists in high density also here, it usually comes out that it is not thought that the substrate for epitaxial growth is turned to, and there is (refer to drawing 1 R> 1 (b)).

[0022] However, in the case of a high concentration boron dope, the field which such a minute rearrangement does not generate is comparatively high-speed, and that V/G value used as an I-rich field do not become so high has checked it also in the nitrogen dope and the high concentration boron dope crystal. Moreover, it was checked that an OSF generating field and the minute rearrangement generating field of the interior are influenced other than boron concentration of nitrogen concentration or an oxygen density. Therefore, when the p/p+-EP wafer using high concentration boron and a nitrogen dope substrate was manufactured, the result that what is necessary was just to manufacture the crystal for substrates was obtained, controlling V/G value within a field to lower a rate to extent which the minute rearrangement field in an OSF field does not generate, and not to become an I-rich field.

[0023] The above result was synthesized, and when the manufacture approach of the silicon single crystal for the epitaxial growth of this invention raised the silicon single crystal which doped nitrogen and high-concentration boron with the Czochralski method, it was presupposed to it that a silicon single crystal is pulled up on the conditions which V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring, and the upper limits of an I-rich field (refer to drawing 1 (a)).

[0024] Since the minute rearrangement generating field which is easy to generate in the OSF ring field of a nitrogen dope reason does not exist in that field, although the silicon single crystal substrate manufactured from the single crystal which was able to be pulled up on such conditions stacks an epitaxial layer on this substrate, there is no possibility of forming a crystal defect in an EPI front face, and, moreover, it can offer the very high epitaxial wafer of the gettering effectiveness. In addition, calculation of V/G can be performed in consideration of HZ using FEMAG. FEMAG is comprehensive heat transfer analysis software currently indicated by reference (F. 33 Dupret, P.Nicodeme, Y.Ryckmans, P.Wouters, and M.J.Crochet, Int.J.Heat Mass Transfer, 1849 (1990)) here.

[0025] In this case, it is 3×10^{13} /cm³ about 0.02 or less ohm-cm and nitrogen concentration in the resistivity of the silicon single crystal to raise. Considering as the above is desirable and some which made this resistivity 0.02 or less ohm-cm have the advantage of the reinforcement of the gettering effectiveness by the gettering effectiveness and high concentration boron by boron concentration being high promoting a deposit of oxygen and a substrate improving. However, since there is a solid-solution limit community of the boron in a silicon single crystal, 0.0001 ohm-cm extent of resistance is a minimum. Moreover, it is 3×10^{13} /cm³ about the nitrogen concentration to dope. The above, then the precipitation-of-oxygen property by nitrogen can fully be raised. When lower than this concentration, there is a possibility that the precipitation-of-

oxygen effectiveness by having doped nitrogen may become low. Moreover, about 5×10^{15} concentration from which nitrogen does not serve as hindrance of single-crystal-izing, either is an upper limit.

[0026] In this invention, the oxygen density under crystal may be what kind of concentration in principle. However, since the method of generating of the minute dislocation loop in an OSF ring and an OSF ring changes with oxygen densities, the difficulty of the pull-up which makes V/G value the inside of the field of this invention is affected. If oxygen does not exist at all, the nucleus of OSF occurs, there is no way and, specifically, neither an OSF ring nor a minute dislocation loop is generated. Moreover, the methods of generating of an OSF ring and a minute dislocation loop differ clearly by the case where a crystal is made from a super-low oxygen density, and the case where it makes from hyperoxia concentration, and it becomes easy to generate a minute rearrangement in the hyperoxia. Therefore, in this invention, it is necessary to also take the oxygen density under crystal into consideration, and to control suitable V/G value.

[0027] And the manufacture approach of the epitaxial wafer of this invention grows up an epitaxial layer on the wafer which slices the silicon single crystal manufactured by the above-mentioned manufacture approach, and is obtained. The very high epitaxial wafer of IG capacity in which the epilayer which does not have an EPI defect by this was formed can be offered.

[0028]

[Example] Although the example and the example of a comparison of this invention are given and being explained more concretely hereafter, this invention is not limited to these.

[0029] (An example, example of a comparison)

[Trial -1] The pull-up equipment which has specific HZ (Hot Zone, structure in a furnace in crystal pulling equipment) is used. Charge raw material polish recon 120kg, and the specified quantity injection of the wafer with a nitride is carried out. Nitrogen concentration $3 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ (the part of the shoulder of a single crystal rod, calculated value), The impurity (boron) was doped so that it might become 0.015 ohm-cm with the shoulder of a single crystal rod about resistivity, and the single crystal with a diameter of 200mm (8 inches) was pulled up by making a pull-up rate into 1.0 mm/min, having made the oxygen density as about 14 ppma(s) (JEIDA specification, JEIDA: Japan Electronic Industry Development Association).

[0030] The OSF ring was widely distributed over the wafer cut down from this single crystal, and the minute rearrangement had occurred in that part (being the location of $V = 1.0$ of drawing 1 (a) $V/G = 0.25 \text{ mm}^2 / \text{K-min}$). Furthermore, when the 5-micrometer epitaxial layer was grown up into the mirror plane wafer sliced and produced from the body near the shoulder of a crystal at 1130 degrees C, it became clear by cross-section TEM observation that an EPI defect exists in the front face of the epilayer corresponding to the part which had generated the minute rearrangement.

[0031] [Trial -2] Although the OSF ring itself remained a little at the core of a wafer when the raising rate was reduced to 0.80 mm/min on the same conditions and it pulled up using the pull-up equipment which continues and has the same HZ structure as trial -1, the minute rearrangement itself became the field which has not been generated (being the location of $V = 0.8$ of drawing 1 (a) $V/G = 0.20 \text{ mm}^2 / \text{K-min}$). When the mirror plane wafer was produced from this crystal and the epitaxial layer was grown up, the defect was eliminated from the EPI front face.

[0032] [Trial -3] When it pulled up on the same conditions and the rate was reduced to 0.6 mm/min using the pull-up equipment which finally has the same HZ structure as trial -1, the whole surface became the so-called I-rich field (being the location of $V = 0.6$ of drawing 1 (a) $V/G = 0.15 \text{ mm}^2 / \text{K-min}$). This field is a field which a large rearrangement cluster generates, and the defect had generated it on that front face after EPI growth on the whole surface.

[0033] When raising the silicon single crystal to which the manufacture approach of the silicon single crystal for the epitaxial growth of this invention doped nitrogen and high-concentration boron by the CZ process as a result of the above trial, it was confirmed that the silicon single crystal substrate which does not have a minute rearrangement generating field by this is [that what is necessary is just to pull up a silicon single crystal on the conditions which V/G value becomes between the lower limit of the minute rearrangement generating field in an OSF ring and the upper limits of an I-rich field] producible.

[0034] Moreover, the field which a rearrangement does not generate changes a lot by boron concentration or nitrogen concentration. The nitrogen concentration from which BMD sufficient in a substrate is obtained is $3 \times 10^{13}/\text{cm}^3$. Since it is above, it is desirable from a viewpoint of the improvement in gettering capacity to use it by this concentration. Moreover, it is difficult that V/G value which an OSF ring usually generates [resistivity] so much between resistivity (1-20ohm and cm) and low resistivity (0.1 or less ohm-cm) do not become high, and to pull up a crystal for V/G value as within the limits of this invention, since the so-called N field is not expanded, either. Therefore, 0.1 or less ohm-cm, the range of resistivity is 0.02 or less ohm-

cm, and it is preferably desirable that it is adapted in this invention technique.

[0035] On the other hand, nitrogen concentration is $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$. Since it expands a field which a minute rearrangement generates in being high, the above and, to use this nitrogen concentration, it is necessary to adjust HZ in crystal pulling equipment and to eliminate both the rearrangement of the nitrogen reason out of a field by carrying out flattening of the field internal division cloth of the crystal orientation temperature gradient G near [under crystal] the solid-liquid interface etc., and the rearrangement of an I-rich field.

[0036] In addition, this invention is not limited to the above-mentioned operation gestalt. The above-mentioned operation gestalt is instantiation, and no matter it may be what thing which has the same configuration substantially with the technical thought indicated by the claim of this invention, and does the same operation effectiveness so, it is included by the technical range of this invention.

[0037] For example, in the above-mentioned operation gestalt, although the example was given and explained per when a silicon single crystal with a diameter of 200mm (8 inches) was raised, this invention is not limited to this but can be applied also to the diameter of 100-400mm (4-16 inches), or the silicon single crystal beyond it. Moreover, it cannot be overemphasized that this invention is applicable also to the so-called MCZ method for impressing a level magnetic field and length magnetic field, a cusp field, etc. to silicon melt.

[0038]

[Effect of the Invention] According to this invention explained to the detail above, even if it dopes nitrogen to the silicon single crystal substrate of a p/p+-EP wafer, the very high high quality of the gettering capacity for the defect to have been eliminated from the epilayer front face, and highly efficient EPIUEHA can be manufactured.

[Translation done.]

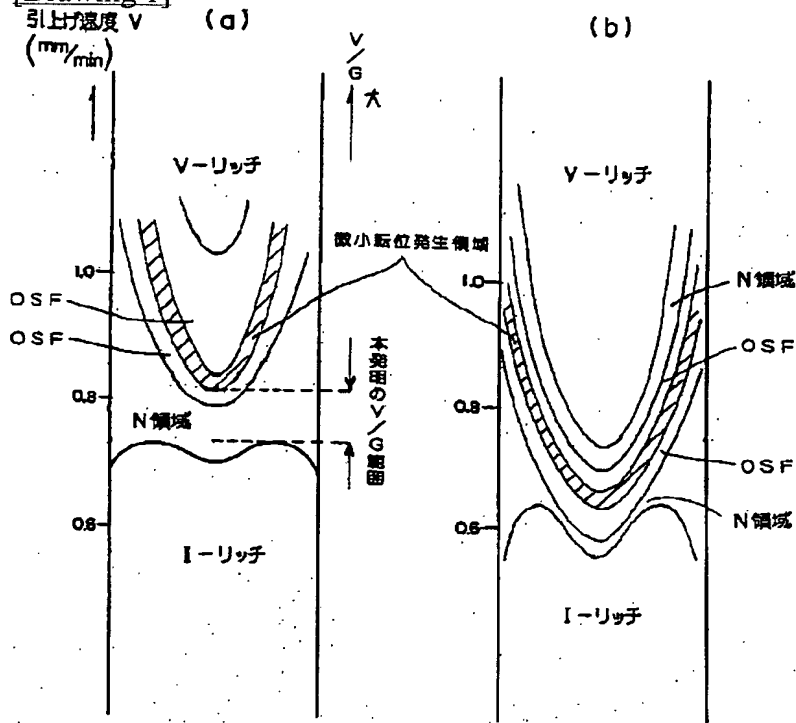
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Translation done.]